

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

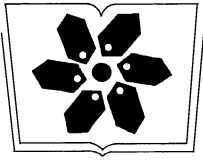
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第1期 Vol.33 No.1 **2013**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 1 期 2013 年 1 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 生态整合与文明发展..... 王如松 (1)
- 干旱半干旱区坡面覆被格局的水土流失效应研究进展 高光耀,傅伯杰,吕一河,等 (12)
- 城市林木树冠覆盖研究进展 贾宝全,王 成,邱尔发,等 (23)
- 环境质量评价中的生物指示与生物监测 Bernd Markert,王美娥,Simone Wünschmann,等 (33)
- 水溶性有机物电子转移能力及其生态效应 毕 冉,周顺桂,袁 田,等 (45)

个体与基础生态

- 凋落物和增温联合作用对峨眉冷杉幼苗抗氧化特征的影响 杨 阳,杨 燕,王根绪,等 (53)
- 不同浓度 5-氨基乙酰丙酸(ALA)浸种对 NaCl 胁迫下番茄种子发芽率及芽苗生长的影响
..... 赵艳艳,胡晓辉,邹志荣,等 (62)
- 缺镁胁迫对纽荷尔脐橙叶绿素荧光特性的影响 凌丽俐,彭良志,王男麒,等 (71)
- 松嫩草地 66 种草本植物叶片性状特征..... 宋彦涛,周道玮,王 平,等 (79)
- 花蜜中酚类物质对群落中同花期植物传粉的影响..... 赵广印,李建军,高 洁 (89)
- 桉树枝瘿姬小蜂连续世代种群生命表..... 朱方丽,邱宝利,任顺祥 (97)

种群、群落和生态系统

- 蒙古栎地理分布的主导气候因子及其阈值 殷晓洁,周广胜,隋兴华,等 (103)
- 河静黑叶猴果实性食物组成、选择及其对种子的扩散作用..... 阮海河,白 冰,李 宁,等 (110)
- 2010 秋季东海今生颗石藻的空间分布 靳少非,孙 军,刘志亮 (120)
- OPRK1 基因 SNP 与梅花鹿日间行为性状的相关性 吕慎金,杨 燕,魏万红 (132)
- 鄱阳湖流域非繁殖期鸟类多样性 邵明勤,曾宾宾,徐贤柱,等 (140)
- 人工巢箱条件下两种山雀鸟类的同域共存机制 李 乐,张 雷,殷江霞,等 (150)
- 桉-栎不同混合比例凋落物分解过程中土壤动物群落动态 李艳红,杨万勤,罗承德,等 (159)
- 三峡库区生态系统服务功能重要性评价 李月臣,刘春霞,闵 婕,等 (168)

景观、区域和全球生态

- 黄土高原小流域不同地形下土壤有机碳分布特征 李林海,郜二虎,梦 梦,等 (179)
- 海岸带地理特征对沉水植被丰度的影响..... 吴明丽,李叙勇,陈年来 (188)
- 玛纳斯河流域扇缘带不同植被类型下土壤物理性质 曹国栋,陈接华,夏 军,等 (195)

资源与产业生态

- 农田开垦对三江平原湿地土壤种子库影响及湿地恢复潜力 王国栋,Beth A Middleton,吕宪国,等 (205)
- 漫溢干扰过程中微地形对幼苗定居的影响 安红燕,徐海量,叶 茂,等 (214)
- 黑龙江流域夏玉米产量提升限制因素 徐丽娜,陶洪斌,黄收兵,等 (222)
- 黑龙江省药用植物根际土壤真菌多样性 慕东艳,吕国忠,孙晓东,等 (229)

桑沟湾养殖生态系统健康综合评价 傅明珠,蒲新明,王宗灵,等 (238)

城乡与社会生态

基于“OOAO 原则”的罗源湾生态质量状况综合评价 吴海燕,吴耀建,陈克亮,等 (249)

四十里湾营养状况与浮游植物生态特征 李 斌,白艳艳,邢红艳,等 (260)

生态足迹深度和广度:构建三维模型的新指标 方 恺 (267)

中国东西部中小城市景观格局及其驱动力 齐 杨,邬建国,李建龙,等 (275)

研究简报

南海陆坡沉积物细菌丰度预测 李 涛,王 鹏 (286)

浑善达克沙地榆树疏林幼苗更新空间格局 刘 振,董 智,李红丽,等 (294)

光 and 不同打破种子休眠方法对紫茎泽兰种子萌发及幼苗状态的影响 姜 勇,李艳红,王文杰,等 (302)

学术争鸣

关于植物群丛划分的探讨 邢韶华,于梦凡,杨立娟,等 (310)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 35 * 2013-01



封面图说: 外来入侵物种紫茎泽兰——紫茎泽兰约于 20 世纪 40 年代由缅甸传入中国云南南部后迅速蔓延,现已在云南、贵州、四川、广西、重庆、湖北、西藏等省区广泛分布和危害,并仍以每年大约 30 km 的速度扩散。紫茎泽兰为多年生草本或亚灌木,号称“植物界杀手”。其对环境的适应性极强,疯长蔓延,能极大耗损土壤肥力。它的植株能释放多种化感物质,排挤其他植物生长而形成单优种群,它破坏生物多样性,威胁到农作物、畜牧草甚至林木,且花粉能引起人类过敏性疾病等,目前尚无有效治理对策。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201106270960

傅明珠, 蒲新明, 王宗灵, 刘新杰. 桑沟湾养殖生态系统健康综合评价. 生态学报, 2013, 33(1): 0238-0248.

Fu M Z, Pu X M, Wang Z L, Liu X J. Integrated assessment of mariculture ecosystem health in Sanggou Bay. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(1): 0238-0248.

桑沟湾养殖生态系统健康综合评价

傅明珠^{1,2}, 蒲新明^{1,2,*}, 王宗灵^{1,2}, 刘新杰³

(1. 国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266061; 2. 海洋生态环境科学与工程国家海洋局重点实验室, 青岛 266061;

3. 山东省荣成市海洋与渔业局, 荣成 264300)

摘要: 桑沟湾是我国北方以筏式养殖利用为主的典型海湾, 来自养殖的压力对海湾生态系统和养殖自身的健康发展产生了影响。利用《海洋养殖生态系统健康综合评价: 方法与模式》建立的方法, 对桑沟湾这一养殖生态系统的健康进行了综合评价。结果表明: 桑沟湾养殖生态系统受到中等程度的压力, 主要来自较高的养殖密度、较大的养殖面积和陆源营养盐的输入; 生态系统状态等级为较好, 其中水交换、水体环境和底质环境均为较好; 自然生物群落状态为中等; 生态系统响应中的养殖病害问题和养殖产品质量问题为中等。总体评价, 桑沟湾养殖生态系统健康勉强达到较好水平, 控制养殖密度和规模等措施是改善桑沟湾生态系统健康的必要途径。

关键词: 桑沟湾; 生态系统健康评价; 变化趋势

Integrated assessment of mariculture ecosystem health in Sanggou Bay

FU Mingzhu^{1,2}, PU Xinming^{1,2,*}, WANG Zongling^{1,2}, LIU Xinjie³

1 First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China

2 Key Lab of Science and Engineering for Marine Ecological Environment, State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China

3 Rongcheng Fishery and Ocean Bureau, Rongcheng 264300, China

Abstract: Sanggou Bay (122°24'—122°35'E, 37°01'—37°09'N) is a semi-enclosed bay on the north-east coast of Shandong Peninsula and is connected to the Yellow Sea in the west. It has a total area of 133.33 km² and mean depth of 8 m. Due to its good natural environmental conditions, such as flat seafloor and high primary productivity, the bay has been used for aquaculture for over 40 years and has become the most important mariculture base in northern China. The main culture species have been seaweed and shellfish, including scallops, oysters and mussels, with an annual production of over 50,000 tonnes. Sanggou Bay has special aquaculture spatial layout with the distribution of shellfish, shellfish+kelp and kelp, respectively, from the bottom to the mouth.

In order to pursue high productivity, Sanggou Bay has experienced a rapid growth in aquaculture during the past 20 years, in terms of an increase in rearing density and expansion of culture area. Pressure from the larger-scale and intensive aquaculture is believed to have impacted on the ecosystem health and sustainability of mariculture. For example, the kelp has begun to rot just before harvesting, the size of scallops has decreased and their mortality during the summer has increased. A number of studies on the ecological environment of Sanggou Bay have been carried out, including the seawater nutrient level and trophic status, the long-term changes in phytoplankton abundance and diversity, the influence of shellfish cultivation on the hydrodynamic conditions, and the pelagic and benthic ecosystems. No study on the health status of the

基金项目: 我国近海海洋综合调查与评价专项课题(908-02-04-07); 海洋公益性行业科研专项经费项目(200805069); 海洋公益性行业科研专项经费项目(2013418043)

收稿日期: 2011-06-27; 修订日期: 2012-07-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xmpu@fio.org.cn

overall ecosystem has been reported so far.

In the present paper, an integrated framework developed recently was employed to assess ecosystem health in Sanggou Bay. The framework and method were developed through an analytic hierarchical process and include 25 indicators. The results showed that (i) the pressure on ecosystem health was “moderate”, mainly coming from large-scale and intensive mariculture and nutrient input, especially phosphorus, from land sources. The degree of aquaculture self-pollution is not high due to nutrient absorption by kelp; (ii) the ecosystem was in a “good” state, due to “good” water exchange and quality, “good” sediment quality and a “moderate” biological community. The large-scale aquaculture did not impact the pelagic and benthic ecosystem significantly, but the natural habitat was moderately disturbed due to the important area occupied by aquaculture; (iii) the ecosystem response was “moderate” in terms of disease and seafood quality issues, and the occurrence of harmful algal blooms and alien species invasion was not serious; (iv) variations in the long-term data showed that the scale of aquaculture had expanded significantly since 1990, and that the kelp was consistently the major part of the aquaculture industry, significantly reducing the shellfish self-pollution level. The concentration of dissolved inorganic nitrogen and the N/P ratio had increased significantly, with the potential for eutrophication. The overall ecosystem health index score was slightly higher than the lower threshold for the “good” level. Controlling the density and scale of mariculture is suggested to improve the health of the Sanggou Bay mariculture ecosystem.

Key Words: Sanggou Bay; ecosystem health assessment; long-term variation

桑沟湾是以筏式贝藻大规模养殖为主要特征的典型海湾,养殖种类、方式与布局具有自身的特征,年产贝类(扇贝、牡蛎)、大型藻数万吨,是我国北方最具有代表性的重点养殖海区和海产品基地。在桑沟湾养殖业的发展过程中,养殖企业为追求高产量、高产,在提高养殖密度的同时,亦大规模扩展养殖面积,海带养殖已扩展到湾外 20 m 水深海域。随着养殖规模的不断扩大,该海湾近来出现了海带在收获季节开始腐烂,栉孔扇贝养殖个体小型化、养殖周期延长、死亡率升高、产品质量下降等问题,严重影响了该湾海水养殖业的可持续发展^[1]。

关于桑沟湾的生态环境问题已有较多研究,例如水体的营养状况^[2-4]、浮游植物多样性的长期变化^[5]、贝类养殖对水动力条件^[6-7]和浮游与底栖环境的影响^[8-9]等,然而将生态系统作为一个整体进行综合健康评价的研究还未见报道。为了量化桑沟湾养殖生态系统受损和退化的程度,本文应用《海水养殖生态系统健康综合评价:方法与模式》一文所建立的方法,对桑沟湾的环境压力、生物群落结构、生态系统功能等方面进行系统地定性与定量评价,以期真实、客观的反映该海湾养殖生态系统的现状及可能的变化趋势,并提出可持续发展管理的建议,为桑沟湾养殖生态系统退化机制与修复技术的研究提供科学依据和技术支持。

1 材料和方法

1.1 桑沟湾海水养殖概况

桑沟湾位于山东半岛东端,荣成市境内(122°24′—122°35′E, 37°01′—37°09′N),北、西、南三面为陆地环抱,湾口朝东面向黄海(图 1),为半封闭海湾。该湾南北口长约 11.5 km,东西宽约 7.5 km,湾内面积约 133.33 km²,湾内平均水深 7—8 m,最大水深 15—17 m,呈自西向东递增的趋势。

桑沟湾养殖业十分发达,养殖面积几乎覆盖全湾,成为我国黄海沿岸的重要水产养殖水域。该湾的主要养殖类型由湾口向湾内依次为海带养殖区、贝藻混养区和贝类养殖区(图 1),传统的鱼类网箱养殖在湾西南角也有分布。桑沟湾养殖业始于 20 世纪 60 年代末,当时海带是唯一的养殖品种,70 年代曾一度养殖贻贝,80 年代随着扇贝人工育苗的成功,栉孔扇贝养殖得到迅速发展,90 年代末期由于栉孔扇贝夏季大规模死亡,养殖者转养牡蛎,目前桑沟湾以牡蛎和海带养殖为主^[1,10](图 2),鱼类的网箱养殖规模近年也有所扩大。

1.2 数据来源

对桑沟湾健康现状的评价主要采用了 2006—2007 年度 908 专项的调查数据,桑沟湾养殖数据来自荣成

市海洋与渔业局提供的内部资料。历史变化趋势的比较使用了国家海洋局第一海洋所的 1983—1984、1988—1989、1999—2000 年的历史调查资料,其它过程参数以及 908 生态调查没有涉及的指标引用了文献中发表的数据,详见下文计算与评价过程。

1.3 评价方法与数据处理

对桑沟湾生态系统健康状况的评价,采用《海水养殖生态系统健康综合评价 I:方法与模式》一文中建立的指标框架和评分标准。对于评价过程中遇到的几种特殊情况按以下方式处理:

(1)若某项指标没有同期调查数据,则采用历史上该参数的多年平均值进行评价得分;(2)若某项指标没有历史调查数据,则将该指标的权重按比例分配至与其同层次的其他指标中;(3)对每个站的指标分别进行评价得分,然后将各站点的得分进行平均得到整个研究区域的评价得分;(4)若同一指标有多个参数,则取得分最低的参数作为该项的得分。

2 结果与讨论

2.1 压力分析

2.1.1 外源污染压力

桑沟湾入湾河流有桑干河、崖头河、沽河、小落河等,陆源物质来源较少。陆源物质主要随工业废水和生活污水排入海中。位于湾西北部的沽河口为城市污水和工业废水进入桑沟湾的入口(图 1),约占该海域等标污染负荷比的 99.03%^[11]。因此本文以沽河对桑沟湾的污染物输入为基础,计算该湾的外源污染压力。

根据海洋养殖生态系统评价方法,营养盐压力采用以下污染指数进行计算:

$$P_i = F_i / (C_i \times V_i)$$

各参数的选择和计算方法如下:沽河平均径流量($6.47 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{a}$)引自张朝晖等^[12]的实测数据,沽河 DIN 平均浓度($0.36 \text{ mol}/\text{m}^3$)与 $\text{PO}_4\text{-P}$ 平均浓度($0.015 \text{ mol}/\text{m}^3$)采用荣成市环保局提供的数据;沽河营养盐入海通量 F_i 用径流平均浓度与沽河平均径流量乘积得到;桑沟湾水体中营养盐浓度 C_i 采用 2006—2007 年 908 专项调查数据的年度平均值;桑沟湾水体体积 V_i 用海域面积(133.33 km^2)与平均水深(8 m)的乘积得到,计算结果见表 1。

表 1 桑沟湾营养盐污染压力评价参数及结果

Table 1 Parameters in the assessment of nutrient pressure

| | 氮 Dissolved inorganic nitrogen, DIN | 磷 Phosphate, $\text{PO}_4\text{-P}$ |
|--|--|--|
| 沽河营养盐入海通量 Nutrient influx from Guhe River F_i/kg | 3.26×10^5 | 3.01×10^4 |
| 桑沟湾水体中营养盐浓度 Nutrient concentration in Sanggou Bay $C_i/(\text{kg}/\text{m}^3)$ | 2.71×10^{-4} | 1.2×10^{-5} |
| 桑沟湾水体体积 Water column volume of Sanggou Bay V_i/m^3 | $10.64 \times 10^8 \text{ m}^3$ | |
| 营养盐污染指数 Nutrient Pollution Index P_i | 1.13 | 2.34 |

根据海水养殖生态系统外源污染压力评价得分标准,DIN 的污染指数 P_i 在 0.5—2 之间,得分为 4, $\text{PO}_4\text{-P}$ 的污染指数 P_i 在 2—5 之间,得分为 3,取最低评价得分 3 作为营养盐污染压力指数。评价结果表明桑沟湾营养盐污染压力较大。

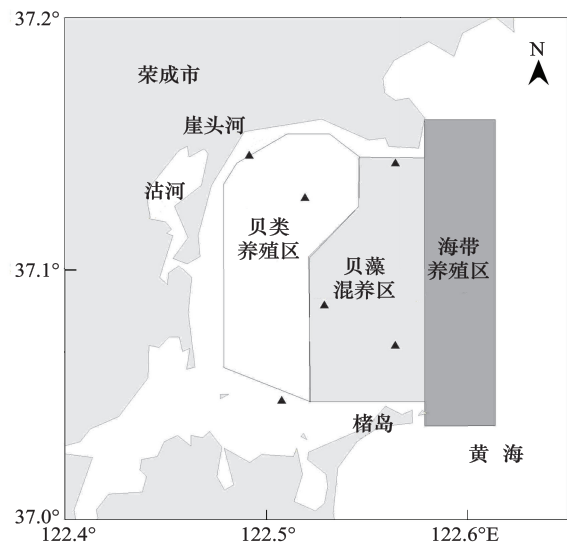


图 1 桑沟湾 2006—2007 年生态调查站位及养殖布局示意图

Fig. 1 Diagram of aquaculture distribution and investigation stations in Sanggou Bay during 2006—2007

由于没有查到桑沟湾重金属和石油烃陆源输入通量数据,本次评价将二者的权重分配至营养盐污染压力指标中,即营养盐污染压力指标权重变为 14.5,因此本模块综合评价得分即为营养盐压力得分=3 分。

2.1.2 养殖压力

本文以桑沟湾的主要养殖品种海带、扇贝、鲍鱼、牡蛎进行养殖压力评价。

(1) 养殖密度/规模

根据荣成市海洋与渔业局提供的资料,桑沟湾 1999—2009 年主要养殖品种的养殖面积以及不同养殖品种的比例见图 2。近十年来,海带始终是桑沟湾的主要养殖品种,养殖面积变化不大,扇贝的养殖面积出现下降趋势,而牡蛎养殖面积呈增加趋势。为了与环境质量模块各指标时间一致(908 调查为 2006—2007 年),本文采用 2006 年和 2007 年桑沟湾养殖面积的平均值进行养殖密度的评价。

对养殖密度/规模的评价采用养殖面积占海湾面积的比例进行计算,2006 年和 2007 年桑沟湾平均养殖面积为 155 km²。需要注意的是,对于筏式养殖,1 养殖亩实际占用水面面积并不等于 1 实测亩。在荣成,每 666.7 m² 5 道梗,筏间距为 4—5 m,每养殖 666.7 m² 占水面实测 2.5×666.7 m²^[13]。本文一律将养殖亩换算成实测面积 61.78×2.5=155 km²,超过桑沟湾水域面积 133.33 km²。这可能是由于桑沟湾的养殖海域已经扩展到湾外的原因,这从桑沟湾的卫星图片上也可以清晰的看出。

张继红^[14]论文中指出,桑沟湾现在的养殖面积约占海域的 70%,另外根据 2008 年和 2009 年山东省海洋环境质量公报^[15-16],桑沟湾养殖面积为 1 万 hm²(约占海域的 75%),可以认为桑沟湾养殖面积占水域面积在 70%—80%之间,根据评价标准,养殖密度/规模评价得分为 2 分。

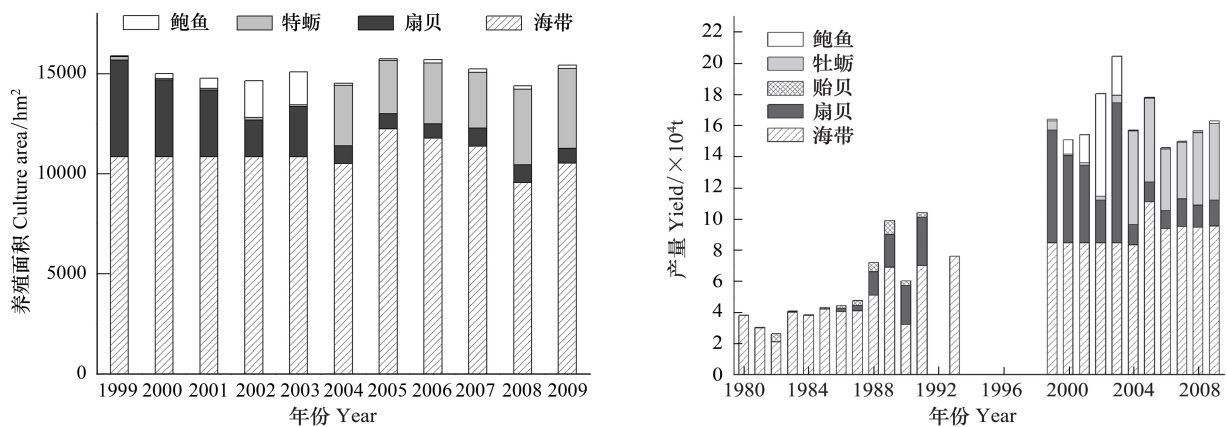


图 2 桑沟湾养殖面积(1999—2009)与产量(1980—2009)变化趋势

Fig.2 Variations trend of aquaculture area (1999—2009) and yield (1980—2009) in Sanggou Bay

(2) 养殖自身污染

桑沟湾的海带养殖和贝类养殖均属于自养生态系统,不需要投放饵料。贝类的生物沉积作用和养殖筏架对海流的阻碍作用,是形成养殖自身污染的两个重要因素。本文主要考虑养殖生物对海区所产生的营养盐负荷的污染(主要是影响较大的无机氮),针对桑沟湾的养殖状况,主要包括以下 3 个过程:海带对氮的吸收,贝类对氮的排泄以及沉积物中氮的溶出量。

养殖自身污染压力也采用污染压力指数法进行评价,污染压力指数等于该污染物通过养殖生物的人海通量除以评价海区中该污染物总量。

$$F_i = \sum_{j=1}^n Q_j \times E_{ij} \quad P_i = F_i / (C_i \times V_i)$$

式中, Q_j 为评价海区中 j 养殖生物每年的养殖产量,单位为 kg; E_{ij} 为在一个养殖周期中 j 养殖生物向水体中输出的 i 污染物的量,单位为 kg/kg。具体计算过程如下:

① 海带吸收氮的量 已有研究资料表明,海带的无机氮含量为 1.2%^[17],桑沟湾 2006 年和 2007 年海带

平均产量干重为 94454 t^[18], 则桑沟湾每年海带吸收 N 的量为 1133 t;

② 贝类对氮的排泄量 周毅等^[19]对几种双壳类对氮、磷的排泄速率进行了研究, 结果表明栉孔扇贝和牡蛎对 NH₄-N 的排泄速率差异不大, 分别为 3.69 μmol h⁻¹个体⁻¹ 和 3.46 μmol h⁻¹个体⁻¹, 本文取二者的平均值(3.58 μmol h⁻¹个体⁻¹)估算养殖贝类对 NH₄-N 的释放量。另外, 根据 Yuan 等^[20]提供的扇贝产量与扇贝个体数的换算(93 800 t=1.59×10⁹个体), 桑沟湾 2006 年和 2007 年贝类的个体数约为 9.0×10⁸个体。

贝类释放 NH₄-N 的量=9.0×10⁸个体×3.58 μmol h⁻¹个体⁻¹×24 h×365 d×14×10⁻¹² t = 395t。

刘学海^[7]在对桑沟湾养殖海域生态系统模型中, 参考“海岸带复合系统中的生态海水养殖研究”项目的调查结果及有关文献^[21-22], 对桑沟湾栉孔扇贝和牡蛎的养殖密度均采用 59 个体/m²。桑沟湾 2006 和 2007 年贝类平均养殖面积为 15.55 km², 按照 59 个体/m² 这样的养殖密度计算的话, 桑沟湾贝类的个体数=15.55 ×10⁶ m²×59 个体/m²=9.2×10⁸个体, 与用 Yuan 等^[20]换算公式结果一致。

③ 沉积物氮的溶出量: 根据孙珊等^[23]的估算研究, 桑沟湾 2006—2007 年沉积物-水体界面 NH₄-N 的交换通量为 0.78—4.13 mg m⁻² d⁻¹。利用其平均值(2.78 mg m⁻² d⁻¹)和桑沟湾的总面积计算, 估算得到桑沟湾全年(365 d)由沉积物扩散进入上覆水的总无机氮的量约为 135 t。

近 20 年来对桑沟湾沉积物营养盐溶出动力学的研究结果列于表 2。尽管桑沟湾的贝类养殖已有 30a 的历史, 但与其他浅海环境相比, 自 1999 年至今沉积物-水界面的营养盐通量一直处于较低或中等水平, 甚至表现出下降的趋势(表 2), 当然这可能与测定方法和取样站点的不同有一定的关系。

综合上述①—③的计算结果, 桑沟湾每年氮净释放量=395+135-1133 < 0。因此, 自身污染压力指数 P_i< 0, 桑沟湾自身污染压力指标得分为 5 分。

从养殖规模与品种比例长期变化趋势看(图 2), 由于海带一直是桑沟湾的主要养殖品种, 对营养盐吸收量较大, 因此尽管贝类对氮的排泄量和沉积物中氮的溶出量是外源污染压力的两倍, 桑沟湾养殖自身污染压力仍然较小。

表 2 桑沟湾沉积物-海水界面 NH₄-N 扩散通量时间变化

Table 2 Diffusion fluxes of NH₄-N between sediment and seawater in Sanggou Bay

| 时间 Time | NH ₄ -N 通量 flux (mg m ⁻² d ⁻¹) | 测定方法 Experiment method | 参考文献 References | 沉积物氮年释放量 Annual nitrogen release from the sediment/t |
|--|---|---------------------------|--------------------|--|
| 1994 年 5 月 May 1994 | 19.14 (TIN) | 实验室培养 | [17] | 543 |
| 1999 年 8 月 August 1999 | 10.64 | 黑暗培养 | [24] | 518a |
| 2002 年 5、7 月 May and July 2002 | 6.32 (扇贝养殖区) | Fick's 第一定律估算 | [25] | 282b |
| | 4.54 (海带养殖区) | | | |
| 2003 | 6.27 (牡蛎养殖区) | 室内培养 | [26] | 279a |
| | 5.71 (TN) | | | |
| 2006—2007 年 (7、11、1 月) July, November and January during 2006—2007 | 2.78 (季节平均) | Fick's 第一定律估算 | [23] | 135a |

a: 按照 NH₄-N 通量×桑沟湾面积×365d 计算; b: 不同养殖区各自的养殖面积(实际占水面面积按筏式养殖面积的 2.5 倍计算)×各自 NH₄-N 通量×365d 计算

(3) 养殖品种多样性/互补性

采用专家评判法, 得分为 4.25 分。

综上所述, 桑沟湾养殖压力模块的得分为 3.0(具体见表 3), 总的压力相对较高。其中养殖自身污染压力得分最高(5 分), 养殖品种多样性得分也较高(4.25 分), 养殖品种较多, 不同养殖品种之间在空间和季节上的搭配比较合理; 养殖密度/规模的得分为 2 分, 说明桑沟湾养殖密度/规模压力较大, 扩展空间有限。总的来说, 桑沟湾养殖业自身污染程度不大, 养殖品种搭配也比较合理, 但较大的养殖规模还是给生态系统造成了较高压力。

表 3 桑沟湾生态系统压力指标评价结果

| 模块 Module | 指标 Indicator | 取值范围 Range | 得分 Score | 权重值 a Weight | 计算方法 Algorithm |
|---|-----------------|---------------|-------------|-----------------|-------------------|
| 外源污染压力 External pollution pressure (3.0) | 营养盐 | | 3 | 14.5 | 见 3.1.1 |
| | 重金属 | - | - | - | 将权重分配至营养盐 |
| | 油类 | - | - | - | |
| 养殖压力 Aquaculture pressure(3.0) | 养殖密度/规模 | 70%—80% | 2 | 9.9 | 见 3.1.2 |
| | 养殖自身污染程度 | | 5 | 3.5 | 见 3.1.2 |
| | 养殖品种多样性/互补性 | - | 4.25 | 3.1 | 专家打分法 |
| 综合得分 Overall score | 3 | | | | |

a. 表中的权重是根据桑沟湾评价结果经过动态权重调整后的值,不是方法的初始权重,以下各表情况相同

2.2 生态环境现状与变化趋势

本文从水文环境、水体环境、底质环境以及生物群落质量 4 个方面,对桑沟湾的生态环境现状及可能的变化趋势进行评价,评价结果总结于表 4。

表 4 桑沟湾生态系统环境现状评价结果

| 模块 Module | 指标 Indicators | 取值范围(或均值) Value range(or mean) | 得分 Score | 权重值 Weight | 计算方法 Algorithm |
|---|------------------|-----------------------------------|-------------|---------------|-------------------|
| 水文环境 Hydrological conditions(4) | 半交换周期/d | 7—16 a | 4 | 6.9 | 单因子评价 |
| 水体环境质量 Water quality(4.0) | 富营养化指数 | 1.66 b | 4 | 4.6 | 富营养化评价指数法 |
| | 重金属生态风险指数 | 28.8—54.5 | 4.1 | 3.3 | 潜在生态风险指数法 |
| | 溶解氧指数(底层水) | -0.52—1.18 | 4.8 | 2.8 | 奈墨罗指数法 |
| | 悬浮物浓度/(mg/L) | 3.4—49.1 | 3.3 | 3.0 | 单因子评价 |
| | 石油类/(mg/L) | 0.01—0.33 | 3.9 | 2.5 | 单因子评价 |
| 底质环境质量 Sediment quality(3.6) | 有机碳/% | 1.10 ^[26] | 3 | 4.3 | 单因子评价 |
| | 重金属生态风险指数 | 34.49 | 4 | 2.9 | 潜在生态风险指数法 |
| | 氧化还原电位/mv | 116.9 ^[18] | 4 | 5 | |
| | 石油类 | - | - | - | 将权重分配至底质环境质量其它指标 |
| 生物群落质量 Biological community quality(3.2) | 浮游植物多样性指数 | 0.36—3.58 | 3.1 | 3.8 | 单因子评价 |
| | 浮游动物多样性指数 | 0.82—2.26 | 2.7 | 4.2 | 单因子评价 |
| | 底栖生物多样性指数 | 1.5—3.73 | 4.2 | 2.5 | 单因子评价 |
| | 微生物 | - | - | - | 将权重分配至其它指标 |
| | 重要生境/生物 | - | 3.5 | 1.9 | 专家评判法 |
| 综合评价得分 Overall score | 3.7 | | | | |

a: 引自文献^[7]; b: 计算方法为 $EI = \text{COD} \times \text{DIN} \times \text{DIP} / 4500$, 其中 DIN 和 DIP 采用 2006—2007 年度 908 调查数据的年度平均值, 即 $\text{DIN} = 271 \mu\text{g/L}$, $\text{PO}_4\text{-P} = 12 \mu\text{g/L}$; 由于 908 调查没有进行 COD 的分析, 本文采用荣成市海洋与渔业局提供的桑沟湾 1995—2005 年 COD 浓度的平均值 (2.3 mg/L) 进行计算

2.2.1 水文环境现状

刘学海^[7]通过海上观测和数值模拟研究了桑沟湾水动力学特征。观测表明养殖活动明显降低了所在水层的流速。模型结果显示, 不考虑养殖影响该湾的半交换周期为 7 d, 仅考虑贝类养殖为 12 d, 同时考虑贝类和海带养殖半交换周期达 16 d。湾内西北、西南部水交换能力最差。

综合考虑桑沟湾水交换状况的得分为 4 分。

2.2.2 水体环境现状与变化趋势

桑沟湾 2006—2007 年水体环境指标的评价结果显示(表 4), 海湾水体处于程度较轻的富营养化状态, 这

主要是由较高的 DIN 浓度所致,底层水体溶解氧含量较高,重金属和石油烃污染不严重,水体悬浮物评价得分最低,浓度处于中等水平。

将各评价指标与自 1983 年以来可得的历史数据进行了比较:桑沟湾底层水体溶解氧含量一直较高 (>5 mg/L),在 2000 年之后表现出一定程度的升高;水体营养盐含量和结构变化较明显(图 3),DIN 浓度在过去的 20a 表现出明显的上升趋势, $\text{PO}_4\text{-P}$ 浓度一直维持在较低水平,N/P 比值显著上升,自 2003 年以来 N/P 比值已远高于 Redfield 比值,富营养化指数也表现出逐渐上升的趋势,虽然目前仍处于较轻富营养化水平,但随着 DIN 浓度的进一步升高,水体可能会出现富营养化程度加重的风险。

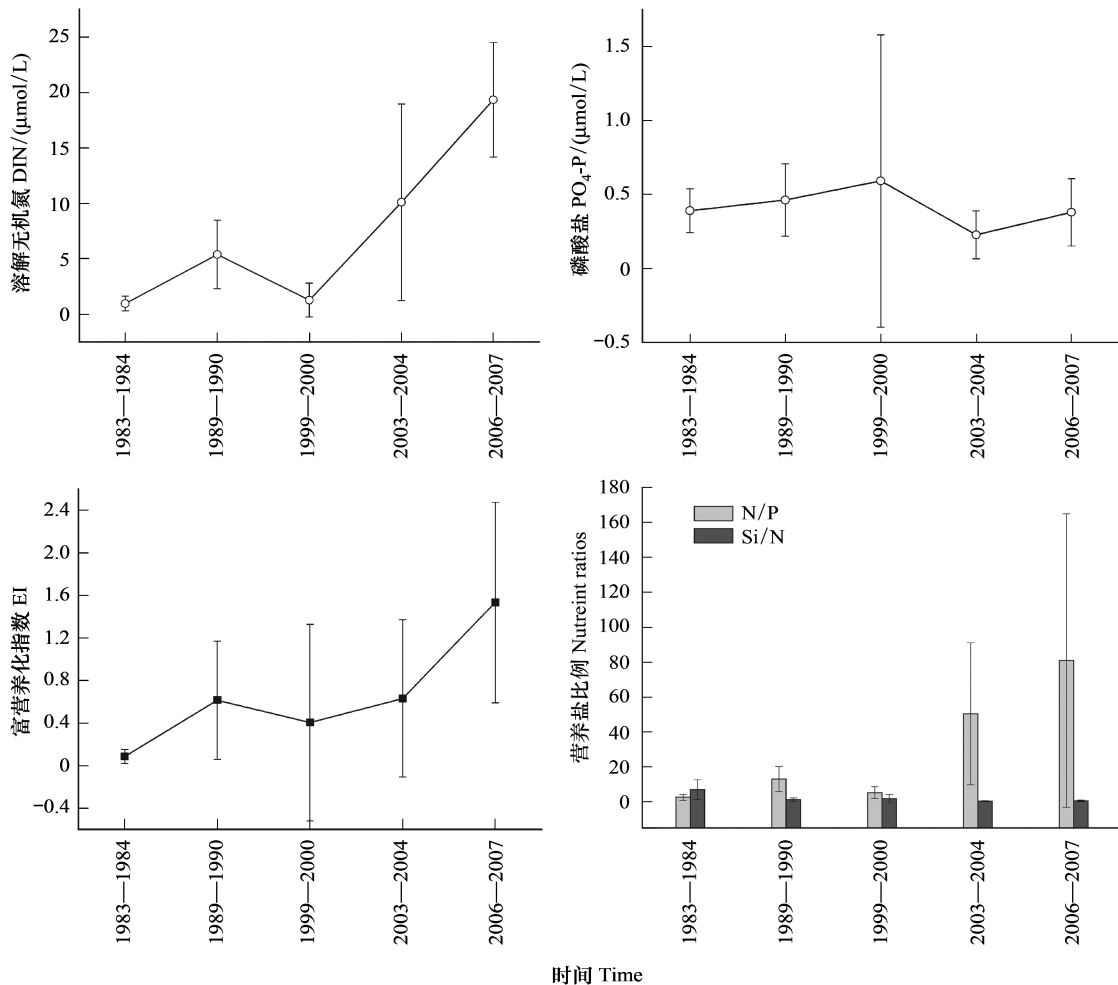


图 3 桑沟湾水体营养盐浓度与结构及富营养化指数的长期变化趋势

Fig. 3 Long-term variations of nutrient concentrations and ratios and EI index in seawater of Sanggou Bay

3.2.3 底质环境现状

由于桑沟湾沉积物历史调查数据较少,本文仅对底质环境的现状进行了评价。桑沟湾沉积物质量总体状况良好(表 4):重金属生态风险污染指数很低;氧化还原电位值较高,与底层水体的溶解氧含量的情况是一致的;有机碳平均含量中等为 1.10%^[26],处于养殖海域的正常水平,表明桑沟湾底质没有受到贝类养殖生物沉积作用的明显影响。

3.2.4 生物群落质量状况

多样性是生物群落的重要特征,是评价生态系统功能与稳定性的重要指标。本文采用 Shannon 多样性指数对桑沟湾浮游植物、浮游动物和底栖生物群落进行了评价。结果表明,2006—2007 年桑沟湾浮游植物(0.36—3.58)与浮游动物(0.82—2.26)多样性指数变化范围较大,平均得分分别为 3.1 和 2.7 分,大型底栖

生物多样性水平相对较高(1.5—3.73),平均得分为4.2分。另外,根据专家对桑沟湾重要生境的评判结果,由于桑沟湾的养殖占有了原海湾部分重要生境,大叶藻的分布区显著缩小,对原有生境造成中等程度干扰。

关于海水养殖对生态环境的影响已有较多研究报道,但对于养殖对生物群落多样性的研究则较少。少量的研究表明海水养殖会对生物多样性产生一定的负面影响,例如贝类养殖会通过浮游植物的选择性摄食而影响浮游植物的数量丰度和群落结构^[8,14,27-28]。从桑沟湾网采浮游植物多样性指数的长期变化看(图4),2000年之后出现下降趋势。

2.3 生态系统响应

生态系统对外源压力和环境变化的响应是目前生态系统健康评价中较少涉及的问题,本文采用专家评判法,对海水养殖生态系统中常见的生态异常问题进行了半定量评价(表5)。桑沟湾的有害赤潮和外来生物入侵问题不严重,但是由于随着养殖规模的不断扩大,该湾近来出现了海带在收获季节开始腐烂,栉孔扇贝养殖个体小型化、养殖周期延长、死亡率升高、产品质量下降等问题,养殖病害和产品质量下降是桑沟湾海水养殖生态系统的主要威胁之一。

表5 桑沟湾生态系统生态响应评价结果

Table 5 Assessment result of the ecosystem response in Sanggou Bay

| 指标 Indicator | 得分 Score | 权重 Weight | 计算方法 Method |
|------------------------------------|----------|-----------|-------------|
| 有害赤潮问题 HABs | 4 | 5.5 | 专家评判法 |
| 养殖病害问题 Aquaculture disease | 2.7 | 6.3 | |
| 养殖产品质量 Aquaculture seafood quality | 3 | 6.4 | |
| 外来生物入侵 Invasion of alien species | 4.2 | 3 | |

2.4 综合评价结果

综合3.1—3.3中对桑沟湾海水养殖生态系统的压力、状态和响应的评价,得到桑沟湾海水养殖生态系统健康综合评价结果(表6)。桑沟湾生态系统压力等级为中等,系统状态等级为较好,系统响应等级为中等;总的生态系统健康指数为3.4,为较好健康水平。同时给出了有关管理建议,见表6。为了方便识别,采用不同的颜色对得分等级进行了标识。

3 结论

本文利用《海水养殖系统健康综合评价:方法与模式》一文中建立的方法,对我国北方重要养殖型海湾桑沟湾的生态系统健康状况进行了综合评价,并结合可得的历史数据对其时间变化趋势进行了探讨,主要结论如下:

(1) 沽河输入的营养盐负荷和过高的养殖规模/密度是影响桑沟湾生态系统健康的主要压力因素,尽管贝类排泄的无机氮与河流输入量相当,但由于大规模海带养殖对营养盐的吸收,桑沟湾的养殖自身污染程度并不高;

(2) 由于桑沟湾较好的水交换能力,以及贝藻混养的多元养殖模式,水体富营养化程度较轻,底层水体溶氧含量较高,大规模养殖活动对沉积物和底栖生物未造成明显影响,但由于桑沟湾的养殖占有了原海湾部分重要生境,大叶藻的分布区显著缩小,对原有生境造成中等程度干扰;

(3) 养殖病害问题和养殖产品质量下降,是桑沟湾生态系统对外源压力和环境变化的主要响应方式,对

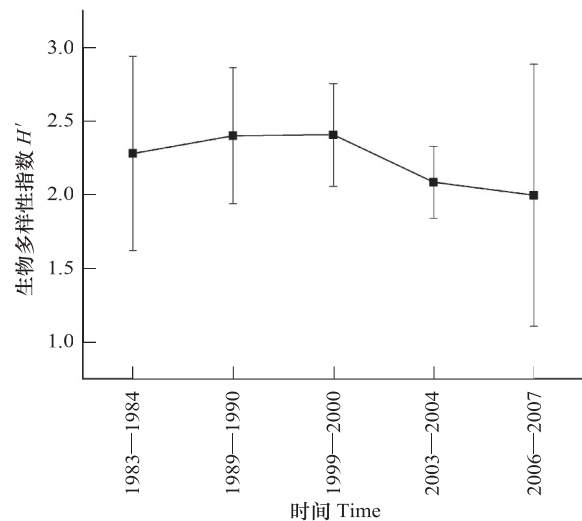


图4 桑沟湾浮游植物物种多样性长期变化

Fig. 4 Long-term variation of phytoplankton biodiversity (H') in Sanggou Bay

生态系统健康具有中等程度威胁;

表 6 桑沟湾海水养殖生态系统健康综合评价表

Table 6 Integrated assessment of Sanggou Bay marine aquaculture ecosystem health

| 层次 Hierarchy | 模块 Module | 评价指标 Indicators | 评价得分/等级 Score/Ranking | 说明 Description |
|--|--|--------------------|--------------------------|--|
| 压力 Pressure (3.0/中等 Moderate) | 外源污染压力 (3.0/中等) | 营养盐污染压力 | 3/中等 | 由于桑沟湾中磷浓度较低,陆源污染中磷对海湾的影响较大,污染压力为中等;无机氮的污染压力为较小 |
| | | 重金属污染压力 | — | |
| | | 油类污染压力 | — | |
| | 养殖压力 (3.0/中等) | 养殖密度/规模 | 2/较大 | 桑沟湾现在的养殖面积约占海域的 70%,养殖压力大 |
| | | 养殖自身污染程度 | 5/很小 | 桑沟湾主要是贝藻养殖方式,海带对营养盐的吸收使养殖自身污染压力很小 |
| 状态 State (3.7/较好 Good) | 水文环境(4/较好) | 海湾水交换能力 | 4/较好 | 桑沟湾海水半交换周期为 16d,交换能力较好;养殖活动对水交换有显著影响 |
| | | 水体环境质量 (4.0/较好) | 营养盐 | 4/较好 |
| | 重金属 | | 4.1/很好 | 桑沟湾重金属污染较轻,各类金属中汞污染较重 |
| | 溶解氧 | | 4.8/很好 | 桑沟湾溶解氧状况良好,只有个别站位夏季较低 |
| | 悬浮颗粒物 | | 3.3/中等 | 悬浮颗粒物浓度为中等 |
| | 油类污染物 | | 3.9/较好 | 油类污染不严重,个别站位超标 |
| | 底质环境质量 (3.7/较好) | 有机质含量 | 3/中等 | 底质有机质含量为中等 |
| | | 重金属含量 | 4/较好 | 底质重金属含量较低 |
| | | 氧化还原电位/硫化物 | 4/较好 | 底质氧化还原电位情况较好 |
| | | 油类污染物 | —/ | |
| | 生物群落质量 (3.2/中等) | 浮游植物/叶绿素 a | 3.1/中等 | 桑沟湾浮游植物生物多样性指数年平均值为 2.0 |
| | | 浮游动物 | 2.7/中等 | 桑沟湾浮游动物生物多样性指数年平均值为 1.5 |
| | | 微生物/粪大肠菌群 | — | |
| | | 底栖动物 | 4.2/很好 | 桑沟湾底栖动物生物多样性指数年平均值为 2.0 |
| | 重要生境/生物 | 重要生境/生物 | 3.5/较好 | 桑沟湾的养殖占有了原部分重要生境,大叶藻的分布区显著缩小 |
| 有害赤潮问题 | | 有害赤潮问题 | 4/较好 | 桑沟湾西部偶发小规模赤潮,未形成大面积暴发 |
| | | 养殖病害问题 | 2.7/中等 | 局部海区出现养殖病害,造成一定程度减产和经济损失 |
| | | 养殖产品质量问题 | 3/中等 | 养殖产品质量基本符合标准,某些产品有出口遭拒情况 |
| 外来生物入侵问题 | 外来生物入侵问题 | 4.2/很好 | 有多种外来生物,尚未造成明显入侵问题 | |
| 总体评价 Overall assessment (3.47/较好 Good) | 桑沟湾的外源污染和养殖压力均为中等,陆源磷的输入对海区影响较大,养殖规模较大;水体和底质环境质量较好,但生物群落质量为中等;有害赤潮和外来生物入侵问题不严重,但养殖病害和产品质量问题为中等,需要引起重视;由于养殖规模较大,造成水交换能力下降,自然生物群落受到影响,并引起养殖病害和产品质量等问题;桑沟湾总的生态系统健康指数为 3.4,为较好健康水平 | | | |
| 建议 Suggestions | 适当控制或减小桑沟湾养殖规模,增加和拓宽航道;降低养殖密度;改进养殖技术,减少养殖筏架上附着生物数量;进一步优化养殖结构,实现在不同水层和季节之间的合理搭配;实行总量控制方案,控制陆源污染 | | | |

(4)从评价指标的历史变化趋势看,桑沟湾的养殖规模在1990年后有大幅增加,近10a来养殖品种和规模变化不大,海带养殖始终占有很大比例,能够有效减轻贝类养殖的自身污染,水体无机氮浓度和氮磷比值显著增加,具有潜在富营养化风险。

(5)桑沟湾生态系统压力等级为中等,系统状态等级为较好,系统响应等级为中等;总的生态系统健康指数为3.4,为较好健康水平。

致谢:国家海洋局908办公室、国家海洋信息中心、山东省海洋水产研究所吕振波研究员为本文提供了桑沟湾908调查资料;荣成市海洋与渔业局渔业技术推广站张新军站长和连岩主任提供了桑沟湾的养殖统计数据;国家海洋局第一海洋研究所张学雷研究员和李瑞香研究员提供了桑沟湾的历史调查数据;国家海洋局第二海洋研究所、山东省海水养殖研究所、宁波大学、国家海洋环境监测中心、中国海洋大学、中国科学院海洋研究所、国家海洋局第一海洋研究所等多名专家对本文的评价方法给出了宝贵意见并参与了专家评分,在此一并致谢。

References:

- [1] Fang J G, Sun H L, Kang S H, Sun Y, Zhou S L, Song Y L, Cui Y, Zhao J, Yang Q F, Li F, Zhang A J, Wang X Z, Tang T Y. Mariculture status and optimising measurements for the culture of scallop *Colalys farferi* and kelp *Laminaria japonica* in Sanggou Bay. *Marine Fisheries Research*, 1996, 17(2): 95-102.
- [2] Zhang J H, Jiang Z J, Wang W, Zou J, Xue S Y, Fang J G, Lian Y, Zhang X J, Liu X J, Zhou Y M. Seasonal distribution and variation of nutrients and nutrients limitation in Sanggou Bay. *Progress in Fishery Sciences*, 2010, 31(4): 16-25.
- [3] Sun P X, Zhang Z H, Hao L H, Wang B, Wang Z L, Liu P, Lian Y, Chang Z Y, Xie L P. Analysis of nutrient distributions and potential eutrophication in seawater of the Sanggou Bay. *Advances in Marine Science*, 2007, 25(4): 436-445.
- [4] Song Y L, Cui Y, Sun Y, Fang J G, Sun H L, Yang Q F, Kuang S H. Study on nutrient state and influencing factors in Sanggou Bay. *Marine Fisheries Research*, 1996, 17(2): 41-52.
- [5] Song H J, Li R X, Wang Z L, Zhang X L, Liu P. Interannual variations in phytoplankton diversity in the Sanggou Bay. *Advances in Marine Science*, 2007, 25(3): 332-339.
- [6] Shi J. Numerical Study on the Influences of Physical Processes on the Aquaculture Carrying Capacity in a Semi-enclosed Bay [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2009.
- [7] Liu X H. Ecosystem Dynamic Models for South Yellow Sea and An Aquaculture Bay [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2008.
- [8] Ji R B, Mao X H, Zhu M Y. Impacts of coastal shellfish aquaculture on bay ecosystem. *Journal of Oceanography of Huanghai and Bohai Seas*, 1998, 16(1): 21-27.
- [9] Zhang L H, Zhang X L, Li R X, Wang Z L, Li Y, Wang L C, Lian Y, Liu Y. Impact of scallop culture on dinoflagellate abundance in the Sanggou Bay. *Advances in Marine Science*, 2005, 23(3): 342-346.
- [10] Zhang W X. *Marine Aquaculture in Sanggou Bay*. Beijing: Ocean Press, 1992.
- [11] Wu J X. Development and Applications of Dynamic Model for Dissolved Nitrogen and Phosphate Budgets in Sungo Bay [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2005.
- [12] Zhang Z H, Lü J B, Ye S F, Zhu M Y. Values of marine ecosystem services in Sanggou Bay. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(11): 2540-2547.
- [13] Liu H, Fang J G, Dong S L, Wang L C, Lian Y. Annual variation of major nutrients and limiting factors in Laizhou Bay and Sanggou Bay. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2003, 10(3): 227-234.
- [14] Zhang J H. Effect of Filter Feeding Shellfish Mariculture on the Ecosystem and the Evaluation of Ecology Carrying Capacity [D]. Qingdao: Institute of Oceanology Chinese Academy of Sciences, 2008.
- [15] *Marine Environment Quality Bulletin of Shandong Province*, 2008. Ji'nan: Ocean and Fisheries Bureau of Shandong Province, 2009.
- [16] *Marine Environment Quality Bulletin of Shandong Province*, 2009. Ji'nan: Ocean and Fisheries Bureau of Shandong Province, 2010.
- [17] Fang J G, Sun H L, Kang S H, Sun Y, Zhou S H, Song Y L, Cui Y, Zhao J, Yang Q F, Li F, Wang X Z, Tang T Y. Assessing the carrying capacity of Sanggou Bay for culture of kelp *Laminaria japonica*. *Marine Fisheries Research*, 1996, 17(2): 7-17.
- [18] Zhang J H, Hansen P K, Fang J G, Wang W, Jiang Z J. Assessment of the local environmental impact of intensive marine shellfish and seaweed farming—Application of the MOM system in the Sungo Bay, China. *Aquaculture*, 2009, 287(3/4): 304-310.
- [19] Zhou Y, Yang H S, He Y C, Zhang F S. Nitrogen and phosphorus excretion and its ecological effect by several bivalves and fouling animals. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 2002, 33(4): 424-431.
- [20] Yuan X T, Zhang M J, Liang Y B, Liu D, Guan D M. Self-pollutant loading from a suspension aquaculture system of Japanese scallop (*Patinopecten yessoensis*) in the Changhai sea area, Northern Yellow Sea of China. *Aquaculture*, 2010, 304(1/4): 79-87.
- [21] Nunes J P, Ferreira J G, Gazeau F, Lencart-Silva J, Zhang X L, Zhu M Y, Fang J G. A model for sustainable management of shellfish polyculture

- in coastal bays. *Aquaculture*, 2003, 219(1/4): 257-277.
- [22] Zhu M Y, Zhang X L, Tang T Y, Ferreira J G, Fang J G, Wang X Z. Application of ecological model in studing the sustainable development of coastal shellfish culture. *Advances in Marine Science*, 2002, 20(4): 34-42.
- [23] Sun S, Liu S M, Ren J L, Zhang J H, Jiang Z J. Distribution features of nutrients and flux across the sediment-water interface in the Sanggou Bay. *Acta Oceanologica Sinica*, 2010, 32(6): 108-117.
- [24] Zhang X L, Zhu M Y, Tang T Y, Wang Y, Liu G, Martin J L M. Fluxes of nutrients at sediment-water in Sanggou Bay and Jiaozhou Bay in summer. *Marine Environmental Science*, 2004, 23(1): 1-4.
- [25] Cai L S, Fang J G, Dong S L. Preliminary studies on nitrogen and phosphorus fluxes between seawater and sediment in Sungo Bay. *Marine Fisheries Research*, 2004, 25(4): 57-64.
- [26] Wu J X, Sun Y, Zhang Q Q, Wang X L. Research on the exchange rates of TOC, TN, TP at the sediment-water interface in aquaculture water areas of Sungo Bay. *Marine Fisheries Research*, 2005, 26(2): 62-67.
- [27] Wu L J, Yang L. Advances on impact of mariculture on biodiversity. *Marine Environmental Science*, 2008, 27(4): 397-400.
- [28] Song H J, Li R X, Wang Z L, Zhang X L, Liu P. Interannual variations in phytoplankton diversity in the Sanggou Bay. *Advances in Marine Science*, 2007, 25(3): 332-339.

参考文献:

- [1] 方建光, 孙慧玲, 匡世焕, 孙耀, 周诗贲, 宋云利, 崔毅, 赵俊, 杨琴芳, 李锋, 张爱君, 王兴章, 汤庭耀. 桑沟湾海水养殖现状评估及优化措施. *海洋水产研究*, 1996, 17(2): 95-102.
- [2] 张继红, 蒋增杰, 王巍, 邹建, 薛素艳, 方建光, 连岩, 张新军, 刘新杰, 周颖敏. 桑沟湾营养盐时空分布及营养盐限制分析. *渔业科学进展*, 2010, 31(4): 16-25.
- [3] 孙丕喜, 张朝晖, 郝林华, 王波, 王宗灵, 刘萍, 连岩, 常忠岳, 谢琳萍. 桑沟湾海水中营养盐分布及潜在性富营养化分析. *海洋科学进展*, 2007, 25(4): 436-445.
- [4] 宋云利, 崔毅, 孙耀, 方建光, 孙慧玲, 杨琴芳, 匡世焕. 桑沟湾养殖海域营养状况及其影响因素分析. *海洋水产研究*, 1996, 17(2): 41-52.
- [5] 宋洪军, 李瑞香, 王宗灵, 张学雷, 刘萍. 桑沟湾浮游植物多样性年际变化. *海洋科学进展*, 2007, 25(3): 332-339.
- [6] 史洁. 物理过程对半封闭海湾养殖容量影响的数值研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
- [7] 刘学海. 南黄海及养殖功能海域生态动力学模型研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
- [8] 季如宝, 毛兴华, 朱明远. 贝类养殖对海湾生态系统的影响. *黄渤海海洋*, 1998, 16(1): 21-27.
- [9] 张莉红, 张学雷, 李瑞香, 王宗灵, 李艳, 王立超, 连岩, 刘瑶. 桑沟湾扇贝养殖对甲藻数量的影响. *海洋科学进展*, 2005, 23(3): 342-346.
- [10] 张为先. 桑沟湾增养殖. 北京: 海洋出版社, 1992.
- [11] 武晋宣. 桑沟湾养殖海域氮、磷收支及环境容量模型 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2005.
- [12] 张朝晖, 吕吉斌, 叶属峰, 朱明远. 桑沟湾海洋生态系统的服务价值. *应用生态学报*, 2007, 18(11): 2540-2547.
- [13] 刘慧, 方建光, 董双林, 王立超, 连岩. 莱州湾和桑沟湾养殖海区主要营养盐的周年变动及限制因子. *中国水产科学*, 2003, 10(3): 227-234.
- [14] 张继红. 滤食性贝类养殖活动对海域生态系统的影响及生态容量评估 [D]. 青岛: 中科院海洋研究所, 2008.
- [15] 2008年山东省海洋环境质量公报. 济南: 山东省海洋与渔业厅, 2009.
- [16] 2009年山东省海洋环境质量公报. 济南: 山东省海洋与渔业厅, 2010.
- [17] 方建光, 孙慧玲, 匡世焕, 孙耀, 周诗贲, 宋云利, 崔毅, 赵俊, 杨琴芳, 李锋, 王兴章, 汤庭耀. 桑沟湾海带养殖容量的研究. *海洋水产研究*, 1996, 17(2): 7-17.
- [19] 周毅, 杨红生, 何义朝, 张福绥. 四十里湾几种双壳贝类及污损动物的氮、磷排泄及其生态效应. *海洋与湖沼*, 2002, 33(4): 424-431.
- [22] 朱明远, 张学雷, 汤庭耀, Ferreira J G, 方建光, 王兴章. 应用生态模型研究近海贝类养殖的可持续发展. *海洋科学进展*, 2002, 20(4): 34-42.
- [23] 孙珊, 刘素美, 任景玲, 张继红, 蒋增杰. 桑沟湾养殖海域营养盐和沉积物-水界面扩散通量研究. *海洋学报*, 2010, 32(6): 108-117.
- [24] 张学雷, 朱明远, 汤庭耀, 王英, 刘岗, Martin J L M. 桑沟湾和胶州湾夏季的沉积物-水界面营养盐通量研究. *海洋环境科学*, 2004, 23(1): 1-4.
- [25] 蔡立胜, 方建光, 董双林. 桑沟湾养殖海区沉积物-海水界面氮、磷、营养盐的通量. *海洋水产研究*, 2004, 25(4): 57-64.
- [26] 武晋宣, 孙耀, 张前前, 王晓丽. 桑沟湾养殖水域沉积物中营养要素(TOC、TN和TP)溶出动力学特性. *海洋水产研究*, 2005, 26(2): 62-67.
- [27] 吴隆杰, 杨林. 海水养殖对生物多样性的影响研究进展. *海洋环境科学*, 2008, 27(4): 397-400.
- [28] 宋洪军, 李瑞香, 王宗灵, 张学雷, 刘萍. 桑沟湾浮游植物多样性年际变化. *海洋科学进展*, 2007, 25(3): 332-339.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 1 January, 2013 (Semimonthly)
CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Integrating ecological civilization into social-economic development WANG Rusong (1)
- The effect of land cover pattern on hillslope soil and water loss in the arid and semi-arid region: a review
..... GAO Guangyao, FU Bojie, LÜ Yihe, et al (12)
- The status and trend on the urban tree canopy research JIA Baoquan, WANG Cheng, QIU Erfa, et al (23)
- Bioindicators and Biomonitoring in Environmental Quality Assessment
..... Bernd Markert, WANG Mei'e, Simone Wünschmann, et al (33)
- Electron transfer capacities of dissolved organic matter and its ecological effects ... BI Ran, ZHOU Shungui, YUAN Tian, et al (45)

Autecology & Fundamentals

- Antioxidative responses of *Abies fabri* seedlings to litter addition and temperature elevation
..... YANG Yang, YANG Yan, WANG Genxu, et al (53)
- Effects of seed soaking with different concentrations of 5-aminolevulinic acid on the germination of tomato (*Solanum lycopersicum*)
seeds under NaCl stress ZHAO Yanyan, HU Xiaohui, ZOU Zhirong, et al (62)
- Influence of magnesium deficiency on chlorophyll fluorescence characteristic in leaves of Newhall navel orange
..... LING Lili, PENG Liangzhi, WANG Nanqi, et al (71)
- Leaf traits of 66 herbaceous species in Songnen grassland in Northeast China
..... SONG Yantao, ZHOU Daowei, WANG Ping, et al (79)
- Effects of nectar secondary compounds on pollination of co-flowering species in a natural community
..... ZHAO Guangyin, LI Jianjun, GAO Jie (89)
- The continuous life-table of *Leptocybe invasa* ZHU Fangli, QIU Baoli, REN Shunxiang (97)

Population, Community and Ecosystem

- Dominant climatic factors of *Quercus mongolica* geographical distribution and their thresholds
..... YIN Xiaojie, ZHOU Guangsheng, SUI Xinghua, et al (103)
- Fruit diet, Selectivity and Seed dispersal of Hatinh langur (*Trachypitecus francoisi hatinhensis*)
..... Nguyen Haiha, BAI Bing, LI Ning, et al (110)
- The distribution of living coccolithophore in East China Sea in autumn, 2010 JIN Shaofei, SUN Jun, LIU Zhiliang (120)
- The association of OPRK1 gene SNP with sika deer (*Cervus nippon*) diurnal behavior traits
..... LÜ Shenjin, YANG Yan, WEI Wanhong (132)
- Preliminary study on bird composition and diversity in Poyang Lake watershed during non-breeding period
..... SHAO Mingqin, ZENG Binbin, XU Xianzhu, et al (140)
- Coexistence mechanism of two species passerines in man-made nest boxes LI Le, ZHANG Lei, YIN Jiangxia, et al (150)
- Dynamics on soil faunal community during the decomposition of mixed eucalypt and alder litters
..... LI Yanhong, YANG Wanqin, LUO Chengde, et al (159)
- RS/GIS-based integrated evaluation of the ecosystem services of the Three Gorges Reservoir area (Chongqing section)
..... LI Yuechen, LIU Chunxia, MIN Jie, et al (168)

Landscape, Regional and Global Ecology

- The distribution of soil organic carbon as affected by landforms in a small watershed of gully region of the Loess Plateau
..... LI Linhai, GAO Erhu, MENG Meng, et al (179)
- Effects of coastal geographical characteristics on the abundance of submerged aquatic vegetation
..... WU Mingli, LI Xuyong, CHEN Nianlai (188)
- Analysis of soil physical properties under different vegetation types in the alluvial fan area of Manas River watershed
..... CAO Guodong, CHEN Jiehua, XIA Jun, et al (195)

Resource and Industrial Ecology

- Effects of farming on wetland soil seed banks in the Sanjing Plain and wetland restoration potential
..... WANG Guodong, Beth A Middleton, LÜ Xianguo, et al (205)

- Effects of the microhabitats on the seedling emergence during the flooding disturbance AN Hongyan, XU Hailiang, YE Mao, et al (214)
- Analysis on the limiting factors to further improve yield of summer maize in Heilonggang River Valley XU Lina, TAO Hongbin, HUANG Shoubing, et al (222)
- Fungal diversity in rhizosphere soil of medicinal plants in Heilongjiang Province MU Dongyan, LÜ Guozhong, SUN Xiaodong, et al (229)
- Integrated assessment of mariculture ecosystem health in Sanggou Bay FU Mingzhu, PU Xinming, WANG Zongling, et al (238)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- The integrative assessment on ecological quality status of Luoyuan Bay based on ‘OOAO principle’ WU Haiyan, WU Yaojian, CHEN Keliang, et al (249)
- Trophic state of seawater and ecological characteristics of phytoplankton in Sishili Bay LI Bin, BAI Yanyan, XING Hongyan, et al (260)
- Ecological footprint depth and size: new indicators for a 3D model FANG Kai (267)
- Landscape dynamics of medium- and small-sized cities in eastern and western China; a comparative study of pattern and driving forces QI Yang, WU Jianguo, LI Jianlong, et al (275)
- Research Notes**
- Prediction of bacterial species richness in the South China Sea slope sediments LI Tao, WANG Peng (286)
- Spatial pattern of seedling regeneration of *Ulmus pumila* woodland in the Otindag Sandland LIU Zhen, DONG Zhi, LI Hongli, et al (294)
- Impacts on seed germination features of *Eupatorium adenophorum* from variable light stimulation and traditional dormancy-broken methods JIANG Yong, LI Yanhong, WANG Wenjie, et al (302)
- Opinions**
- Discus for classification of plant association XING Shaohua, YU Mengfan, YANG Lijuan, et al (310)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

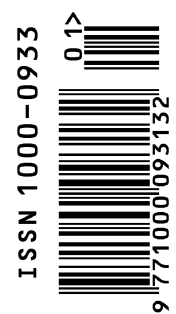
第 33 卷 第 1 期 (2013 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 1 (January, 2013)

| | | | |
|---------------|--|-----------------|---|
| 编 辑 | 《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn | Edited by | Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn |
| 主 编 | 王如松 | Editor-in-chief | WANG Rusong |
| 主 管 | 中国科学技术协会 | Supervised by | China Association for Science and Technology |
| 主 办 | 中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 | Sponsored by | Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China |
| 出 版 | 科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 | Published by | Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China |
| 印 刷 | 北京北林印刷厂 | Printed by | Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China |
| 发 行 | 科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@espg.net | Distributed by | Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@espg.net |
| 订 购 | 全国各地邮局 | Domestic | All Local Post Offices in China |
| 国外发行 | 中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044 | Foreign | China International Book Trading Corporation Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China |
| 广告经营 许 可 证 | 京海工商广字第 8013 号 | | |



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元